한국통신학회논문지(J-KICS) '13-11 Vol.38C No.11
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2013.38C.11.1078

LED-ID 시스템을 위한 이중 이진 터보 코딩의 성능

황 유 민◆, 김 경 호*, 김 진 영°

Performance of Double Binary Turbo Coding for LED-ID Systems

Yu-min Hwang◆, Kyung-ho Kim*, Jin-young Kim°

요 약

유비쿼터스 시대에 발맞춰 LED를 이용한 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술 개발이 진행 중이다. 그러나 LED를 이용한 가시광 통신은 통신 성능이 저하되는 취약점이 있다. 백열등, 형광등, 태양광선 등과 같은 광잡음으로 인한 정보의 손실을 줄이기 위해 채널 코딩 방식인 이중 이진 터보 코딩을 제안하고자 한다. 본 논문에서는 제안된 시스템의 부호화 방식을 설명하고 시뮬레이션 결과를 분석하여 제안한 이중 이진 터보 코딩을 이용하여 기존의 가시광 통신 시스템의 성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : LED-ID Systems, VLC, Binary turbo codes, Channel coding, Turbo codes

ABSTRACT

At the ubiquitous age, applications of Wireless Personal Area Network (WPAN) technology using LEDs are in progress. However, visible light communication using LED have weakness, which deteriorates performance of communication. To reduce information losses, which is caused by optical noise, such as incandescent lamps, fluorescent lamps, sunbeam etc., proposed channel coding scheme, double binary turbo codes. In this paper, encoding scheme of the proposed system is described and simulation results are analyzed. We had expected improved performance by using double binary turbo codes. Finally, performances of the proposed system came up to our expectations.

Ⅰ. 서 론

오늘날 전 세계적으로 지구 온난화와 자원 고갈 상황에 직면하고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 에너지의 보다 효율적으로 사용할 수 있는 기술 및 신재생 에너지 기술이 집중적으로 연구 개발되고 있다. 그 과정에서 조명 산업의 큰 발전이 집중 조명받고 있다. 과거 100년 동안 백열등, 형광등이 조명으로 사용되었지만 미국과 유럽연합의 규제 정책 때문에 친환경적이고 에너지 절약에 적합한 LED 조명으로 변경되고 있다. 저 전력을 소비하고, 수명은 형광등의 백배정도인 LED 조명은 1966년 조명산업시장에 등장하였다. 또한 LED 조명은 중금속의 사용을 규제하는 유해물질 제한지침(RoHS)을 따르고 있다. 만약 LED 조명 인프라를 사용하여 통신이 가능하다면, 통신 인프라를 구축하는 비용은 감소할 것이고, LED 조

※ 본 연구는 MKE/KEIT의 IT R&D 프로그램의 지원으로 만들어진 결과임(10035362, Development of Home Network Tech. based on LED-ID)
◆ First Author : 광운대학교 전파공학과 유비쿼터스통신연구실, yumin@kw.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : 광운대학교 전파공학과 유비쿼터스통신연구실, jinyoung@kw.ac.kr, 종신회원
* 광운대학교 전파공학과 유비쿼터스통신연구실, gentle@kw.ac.kr, 학생회원
논문번호 : KICS2013-06-264, 접수일자 : 2013년 6월 25일, 최종논문접수일자 : 2013년 11월 5일

명이 설치되어 있는 곳에서는 어디서나 통신이 가능한 유비쿼터스 통신이 가능하게 될 것이다. 이러한 발상을 실현한 기술이 가시광 통신으로 무선 통신 기술과 조명 장치를 융합한 첨단 기술이다[1,2].

가시광 통신의 가장 큰 장점은 LED를 이용하여 조명과 통신을 동시에 할 수 있다는 것이다. 또 다른 장점으로는 광대역으로 정보를 전달할 수 있고, 보안에 용이하고, 인체에 무해하고, 전자파 간섭이 없으며, 주파수 허가가 필요 없다는 점이 있다. 다른 측면에서 가시광 통신의 단점으로는 빛의 감쇠 특성으로 인한 짧은 전송 거리, 백열등, 형광등, 태양광선 등으로 인한 빛의 간섭, 높은 초기 설치비용이 있다[3]. 이미 언급했듯이 LED의 장점 때문에 실내조명, 신호등, 가로등, 광고판, 자동차의 헤드라이트 등 LED를 사용하는 장치들이 실생활에 널리 보급되어 있다. 각 장치의 광원은 변조될 수 있으며, 각 장치들은 정보를 전송할 수 있다. 따라서 가시광 통신은 실생활 어디에서나 사용될 수 있다.

본 논문에서는 LED를 사용하는 장치들 간의 통신을 할 때, 발생하는 간섭을 제거하고, BER 성능을 향상시키기 위해 오류 정정 채널 코딩 이중 이진 터보 코딩 방식을 제안한다. 오류 정정 채널 코딩은 페이딩, 간섭, 잡음 등에 대항하기 위해 셀룰라, 이동위성 시스템 같은 무선 통신 시스템에서 사용되고 있으며, 채널을 통해 정보 전송 속도를 높이고, 신뢰성을 향상시키는 것으로 통신 품질을 높이기 위해서 필요하다[4].

과거 채널 부호화 기술인 터보 코드는 오류 정정 코드로서 가시광 통신 시스템에 적용했을 때 SNR 약 2.5dB에서 BER 10-3을 달성하여 시스템 성능 향상이 있었다[5]. 하지만 아날로그 신호가 광 신호로 변할 시 효율을 고려하였을 때 변환 효율이 낮기 때문에 SNR 대 BER 성능 향상에 조금 더 기여할 수 있을 것으로 기대하여 세계 최초로 본 시스템을 제안하게 되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 무선 광 채널에서 이중 이진 터보 코드들의 부호화 및 복호화로 구성된 시스템 모델을 설명하였고, Ⅲ장에서는 모의실험 결과를 분석하고, Ⅳ장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시하였다.

Ⅱ. 시스템 모델

이번 장에서는 제안하는 시스템인 이중 이진 터보 부호화기를 이용한 LED-ID 시스템을 소개한다. 제안한 시스템 모델은 그림1과 같다.

LED-ID 시스템은 Reader와 Tag의 ID 정보를 기반으로 위치정보, ID 정보, 멀티미디어 정보, 공공정보, 상품정보 등을 사용자의 취향과 요구에 맞추어 서비스를 제공하는 신개념 ID 네트워크이다. 기존 조명 인프라를 그대로 사용하여 장소와 고객에 맞추어 다양한 서비스를 제공할 수 있는 유비쿼터스 네트워크 구현에 적합한 기술이다. LED-ID 시스템의 Reader와 Tag는 Illumination Terminal과 Mobile Terminal로 구성되어 있다. Illumination terminal은 조명 인프라와 연결이 가능할 뿐만 아니라 기존의 네트워크와 연동됨으로써 이종 네트워크에 대한 연결이 용이하다[6].

그림 2는 제안한 LED-ID 통신 시스템의 블록도이다. 가시광 통신 시스템 기반인 LED-ID 시스템은 Electric data source로부터 이중 이진 터보 코딩 단계와 QPSK modulation단계를 거쳐 Optical data로 변환된 후 광 신호로서 LED에서 방사되어 통신하게 된다. 복조 과정은 변조과정의 역순 단계로 진행된다. 여기서 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조는 수신부에서 광 신호를 수신할 때, 광 세기로서 광 신호를 판단하기 때문에 RF시스템과 달리 0V 미만의 신호를 수신할 수 없다. 따라서 LED 조명에서 출력되는 광 신호를 QPSK 변조할 시 그림 3와같이 DC신호를 삽입하여 광 신호의 최대/최소 진폭을 모두 0V이상이 되도록 한 상태에서 위상 성분을 추가하는 변조

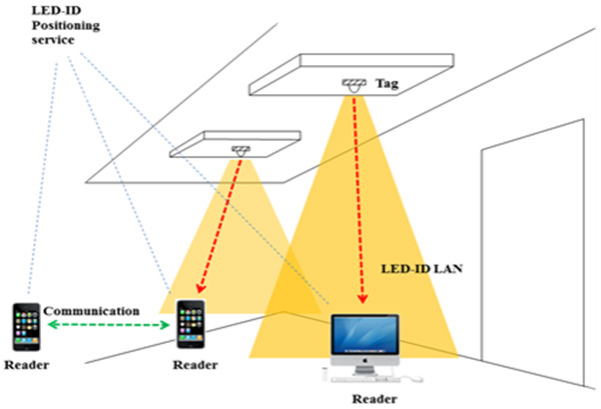

그림 1. LED-ID 시스템 모델.
Fig. 1. LED-ID system model.

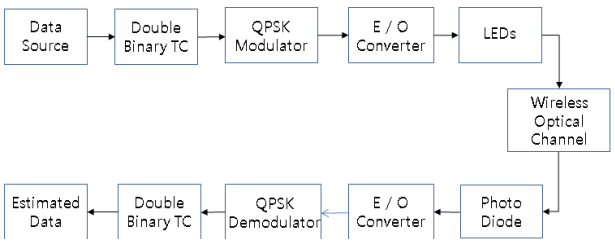

그림 2. 제안한 LED-ID 통신 시스템 블록 모델.
Fig. 2. The proposed visible light communication system block model.

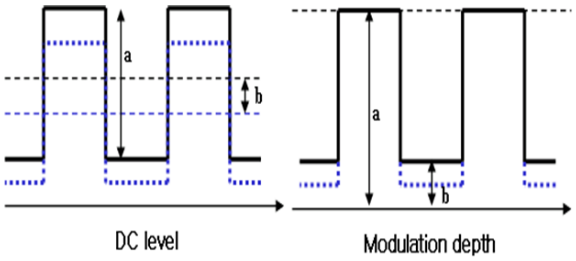

그림 3. DC성분을 추가하여 변조하는 광 신호 파형.
Fig. 3. Optical signal pulse added DC component.

를 통하여 전송이 이루어진다.

2.1. 이중 이진 터보 코드

그림 4는 이중이진 터보 부호화기의 구조를 나타낸다. 이중이진 터보부호에서는 정보블록 내의 두 개의 연접한 이진 비트들을 묶어 하나의 2-비트 심볼을 형성한 후 부호화 및 복호화를 수행한다. 여기서 요소 부호화기(constituent encoder)는 길쌈 부호화 기법(convolutional encoding)을 사용한다[7,8]. 그러나 이중이진 터보 부호화 과정에는 순환 상태를 결정하기 위한 사전부호화(pre-encoding) 작업이 추가되므로 부호화 속도는 느려진다. 한편 길쌈 부호화기(convolutional encoder)의 메모리 개수를 ν 라 할때, 트렐리스의 총 경로 수는 이진 터보부호의 경우 약 $2^{\nu N}$인 반면 이중이진 터보부호의 경우 약 $2^{\nu N/2}$이다. 따라서 이중이진 터보부호를 사용함으로써 복호과정 중 트렐리스 탐색의 연산복잡성을 확연히 줄일 수 있으므로, 복호 속도는 빨라진다. 이와 같은 복호 속도의 향상 폭은 사전부호화 작업에 의해 야기 되는 부호화 속도의 저하 폭을 능가하므로, 전체적으로 볼 때 이중이진 터보 부호는 이진 터보부호에 비해 부호화/복호화의 처리 속도가 빠르다.

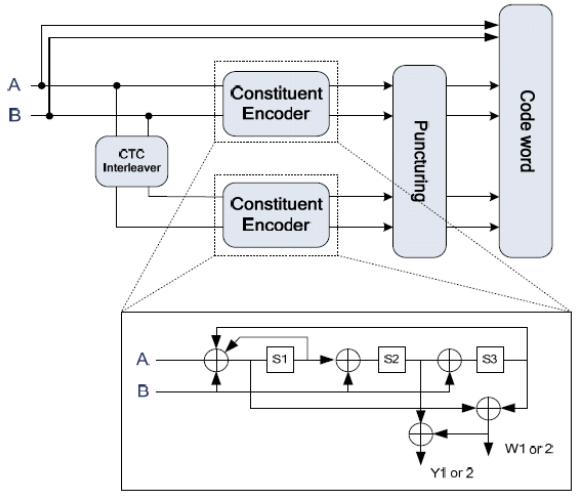

그림 4. 이중 이진 터보 부호화기.
Fig. 4. Double binary turbo codes encoder.

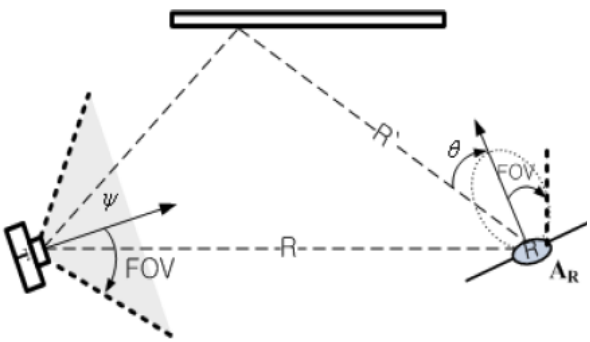

그림 5. 가시선 링크.
Fig. 5. LOS links.

2.2. 무선 광 채널 모델

LED-ID 시스템은 가시광을 이용하여 통신을 하기 때문에 무선 광 채널을 고려한다. 채널 모델은 Barry에 의해서 제안된 채널 모델을 적용한다. 식 (1)~(6)은 시뮬레이션 환경에서 무선 광 통신 모델로서 적용되었다. LOS 인 경우에는 반사가 없으며 수신단의 그림 5의 면적 A_r은 송·수신단의 거리 R에 비해 상당히 작다고 가정한다. 채널 임펄스 응답은 Dirac delta function으로 간략히 표현할 수 있다.

$$h(t;S,R)=\frac{n+1}{2\pi}cos^{n}(\phi)d\Omega rect(\theta/FOV)\delta(t-R/c) \quad (1)$$

여기서, $d\Omega$은 수신단의 미소 면적의 입체각이다.

$$d\Omega \approx \cos(\theta)A_R/R^2 \quad (2)$$

θ는 $\hat{n}_r$과 (r_S-r_R)사이의 각도로

$$\cos\phi \approx \hat{n}_R(r_S-r_R)/R, \quad (3)$$

ϕ는 $\hat{n}_S$와 (r_S-r_R) 사이의 각도로

$$\cos\phi \approx \hat{n}_S(r_R-r_S)/R, \quad (4)$$

n은 모드 넘버로 송신단의 half-angle α_H 로 계산할 수 있다.

$$\alpha_H=\cos^{-1}(0.5)^{\frac{1}{n}}$$
$$\rightarrow n=\frac{\log 0.5}{\log(\cos\alpha_H)}. \quad (5)$$

본 논문에서 잡음 모델은 AWGN(Adaptive White Gaussian Noise)으로 가정한다. 일반적으로 무선 광 채널에서는 전송 품질은 산탄 잡음에 의존한다. 하지만, 수신단에서 협 대역 광 필터를 사용하기 때문에 높은 차수를 가지는 산탄 잡음을 무시 할 수 있다. 따라서 무선 광 통신 채널 모델은 다음과 같이 표현한다.

$$y(t) = r \cdot x(t) \otimes h(t) + n(t), \qquad (6)$$

여기서, $y(t)$는 수신된 신호, $x(t)$는 입력 신호, $n(t)$는 AWGN, r은 optical/electric (O/E) 변환 효율, $\otimes$은 컨볼루션 연산이다.

표 1. 모의실험 파라미터
Fig. 1. Simulation parameters

The receiver O/E conversion effciency	1[A/W]
Detector physical area of photo detector	1.0[cm^2]
Transmitted optical power	200[mW]
Distance of between Tx & Rx	2m
Distance of between Relay & Rx	1m
Error correcting code	Double binary turbo code
Channel	Indoor LED-ID channel

Ⅲ. 모의 실험

이 장에서는 제안된 가시광 통신 시스템이 실내 LED-ID 환경에서의 채널 임펄스 응답을 사용하여 모의 실험 결과를 보여준다. 기본 변조는 QPSK를 사용했고, 광 변조는 Intensity Modulation/Direct Detection(IM/DD)를 사용하였으며, O/E efficiency는 1 [A/W]이다.

그림 6은 이중 이진 터보 코딩 방식과 부호화 되지 않은 방식의 BER 성능을 비교한 것을 나타낸다. 이중 이진 터보 코딩을 이용한 LED-ID 시스템에서 약 6 [dB]의 BER 성능이 향상된 것을 볼 수 있다.

그림 7은 LED-ID 채널에서 반복횟수에 따른 BER 성능을 보여준다. 반복횟수가 증가할수록 BER 성능이 향상되는 것을 알 수 있다.

그림 8은 LED-ID 채널에서 반복횟수에 따른 FER 성능을 보여준다. 반복횟수가 증가할수록 FER 성능이 향상되는 것을 알 수 있다.

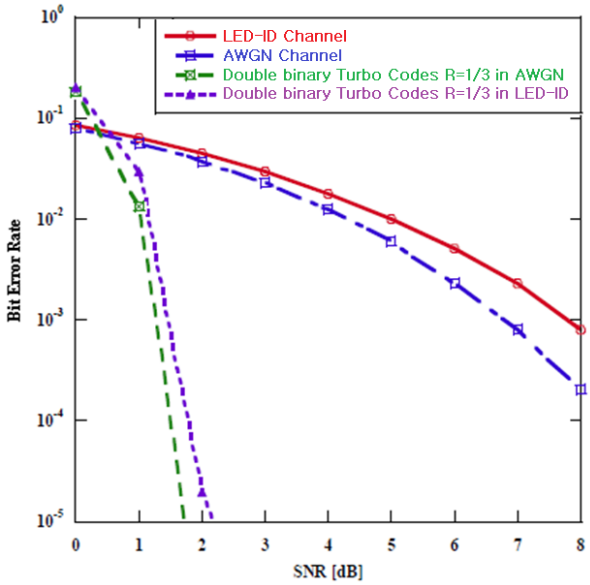

그림 6. 이중 이진 터보 부호화기의 BER 성능.
Fig. 6. BER performance with double binary turbo codes.

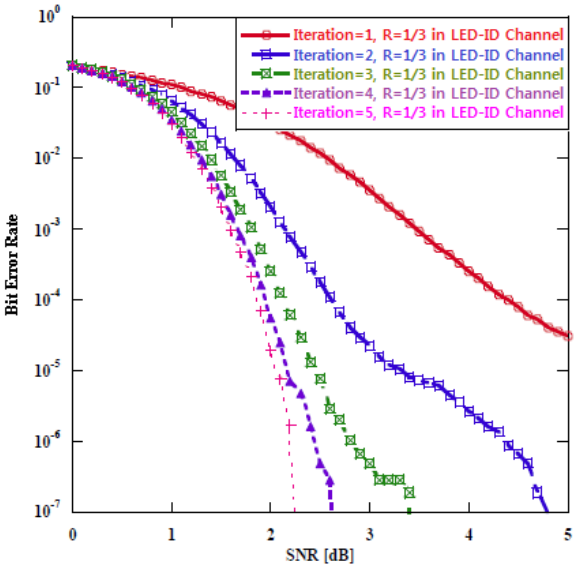

그림 7. 이중 이진 터보 부호화기를 반복 적용한 BER 성능.
Fig. 7. BER performance of double binary turbo codes with iteration.

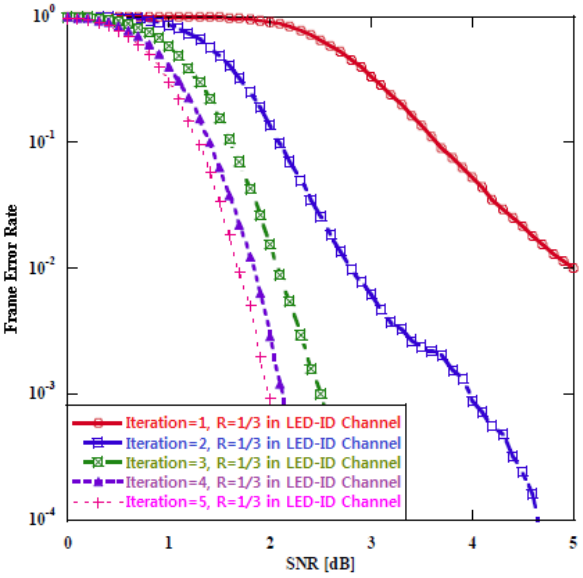

그림 8. 이중 이진 터보 부호화기를 반복 적용한 FER 성능.
Fig. 8. FER performance of double binary turbo codes with iteration.

Ⅳ. 결 론

LED-ID 시스템은 가시광 통신방식을 이용하여 고속 전송이 가능하고, RF 기기와의 간섭이 없으며, 인체에 안전하고, 주파수 규제가 없고 보안에 강한 장점들이 있다. 하지만 짧은 전송 거리, 태양광선 및 다른 광원으로 인한 간섭, 높은 비용 등의 단점들도 존재한다. 본 논문에서는 채널 상태와 전송 거리에 따른 정보의 손실을 줄이기 위해, 제안한 시스템을 모의실험 하였다.

시뮬레이션 결과, 이중 이진 터보 코딩 방식을 사용했을 때, SNR 약 1.7dB에서 BER 10-3 달성으로 성능이 향상된 것을 알 수 있었다. 만약 가시광 통신 시스템에서 터보 코딩 방식이 적용된다면 정보의 손실을 감소시킬 수 있기 때문에 신뢰성을 높일 수 있다.

향후에는 거리에 따른 다중 경로 페이딩 채널에서 시뮬레이션 분석을 진행할 예정이고, 실제 환경에서 실내 LED 조명 인프라를 이용한 가시광 통신 시스템을 적용하기 위해서는 광 채널 모델의 연구와 송신기와 수신기 사이의 전력 손실에 대한 개선을 위한 지속적인 연구가 필요하다.

References

[1] J. Y. Kim, *LED Visible Light Communication Systems*, Hongreung Science Publishers, 2009.

[2] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.

[3] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa. "Indoor visible communication utilizing plural white LEDs as lighting," in *Proc. 12th IEEE Int. Symp. Personal, Indoor, Mobile Radio Commun.*, vol. 2, pp. 81-85. San Diego, U.S.A., Sep. 2001.

[4] Y. G. Kim, Y. H. Ko, and N. Kim, "Complexity comparison on decoding method of turbo codes with short frame sizes," *J. Korean Inst. Commun. Sci. (KICS)*, vol. 1, pp. 51-55, Apr. 1999.

[5] S. H. Lee and J. K. Kwon, "Turbo code-based error correction scheme for dimmable visible light communication systems," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 24, no. 17, pp. 1463-1465, Sep. 2012.

[6] K. J. Lee, D. H. Cha, S. H. Hwang, and K. S. Lee, "Study on scalable video coding signals transmission scheme using LED-ID system," *J. Korean Inst. Commun. Sci. (KICS)*, vol. 36, no. 10, pp. 1258-1267, Oct. 2011.

[7] C. Berrou and A. Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 10, pp. 1261-1271, Oct. 1996.

[8] J. R. Barry, *Wireless Infrared Communications*, Kluwer Academic Publishers, Jan. 1994.

황 유 민 (Yu-min Hwang)

2012년 2월 광운대학교 전파공학과 졸업
2012년 3월~현재 광운대학교 전파공학과 석박통합과정
<관심분야> VLC, 디지털 통신, 재난통신

김 경 호 (Kyung-ho Kim)

2013년 2월 광운대학교 전파공학과 졸업
2013년 3월~현재 광운대학교 전파공학과 석박통합과정
<관심분야> WBAN, 디지털 통신, VLC

김 진 영 (Jin-young Kim)

1998년 2월 서울대학교 전자공학과 공학박사
2001년 2월 SK 텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
2001년 3월~현재 광운대학교 전자융합공학과 교수
<관심분야> 다지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신